

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION  
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété  
Intellectuelle  
Bureau international



(43) Date de la publication internationale  
5 décembre 2002 (05.12.2002)

PCT

(10) Numéro de publication internationale  
**WO 02/097327 A1**

(51) Classification internationale des brevets<sup>7</sup> : F23C 6/04,  
I<sup>23</sup>M 9/06

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : INSTI-  
TUT FRANÇAIS DU PETROLE [FR/FR]; 1 et 4, avenue  
du Bois Préau, F-92852 Rueil Malmaison (FR).

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/FR02/01749

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : MARTIN,  
Gérard [FR/FR]; La Petite Colline, 63, chemin de Putel,  
F-69230 Saint Genis Laval (FR). NASTOLL, Willi  
[DE/FR]; 12, chemin de Matras, F-38370 Les Roches de  
Comdriau (FR). ROESLER, John [US/FR]; 25, rue du  
Docteur Zamenhof, F-92500 Rueil-Malmaison (FR).

(22) Date de dépôt international : 23 mai 2002 (23.05.2002)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

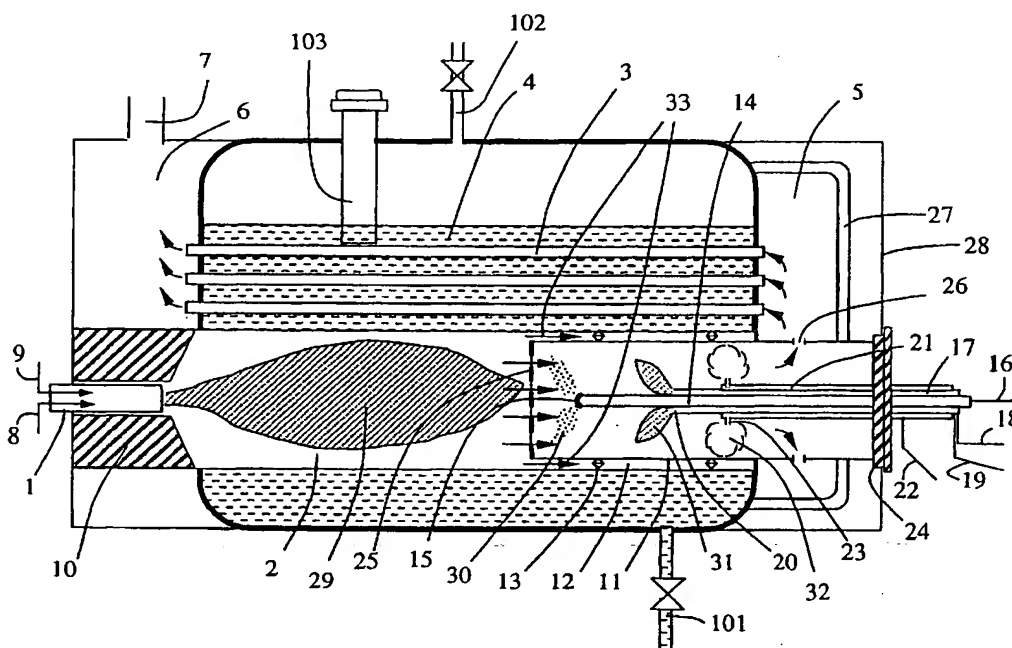
(30) Données relatives à la priorité :  
01/07116 30 mai 2001 (30.05.2001) FR

(74) Mandataire : ELMALEH, Alfred; Institut Français du  
Pétrole, 1 et 4, avenue de Bois Préau, F-92852 Rueil-Mal-  
maison Cedex (FR).

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: THERMAL GENERATOR AND COMBUSTION METHOD FOR LIMITING NITROGEN OXIDE EMISSION BY  
RE-COMBUSTION OF FUMES

(54) Titre : GENERATEUR THERMIQUE ET PROCEDE DE COMBUSTION PERMETTANT DE LIMITER LES EMISSIONS  
D'OXYDES D'AZOTE PAR RECOMBUSTION DES FUMEEES



(57) Abstract: The invention concerns a thermal generator comprising a furnace tube (2) wherein a fuel is burnt, re-combustion means (14, 15) for reducing the nitrogen oxide contents present in said fumes and means for recuperating the heat (3) of the fumes resulting from said combustion. The invention is characterised in that the re-combustion means (14, 15) are placed in confinement means (11).

[Suite sur la page suivante]

WO 02/097327 A1



(81) États désignés (*national*) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

européen (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), brevet OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Publiée :**

— avec rapport de recherche internationale

(84) États désignés (*régional*) : brevet ARIPO (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), brevet eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet

*En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.*

(57) **Abrége :** Générateur thermique comprenant un tube foyer (2) dans lequel est brûlé un combustible, des moyens de recombustion (14, 15) permettant de diminuer les taux d'oxydes d'azote présents dans lesdites fumées et des moyens de récupération de la chaleur (3) des fumées issues de ladite combustion, caractérisé en ce que les moyens de recombustion (14, 15) sont placés dans des moyens de confinement (11).

GENERATEUR THERMIQUE ET PROCEDE DE COMBUSTION PERMETTANT DE LIMITER LES  
EMISSIONS D'OXYDES D'AZOTE PAR RECOMBUSTION DES FUMEEES

5

10

- 15 La présente invention concerne le domaine des générateurs thermiques, notamment de chaudières industrielles, permettant de limiter les émissions d'oxydes d'azote par recombustion des fumées et un procédé pour la mise œuvre d'un tel générateur.
- 20 L'invention est applicable dans tout type de chaudière tel que par exemple les chaudières à tubes de fumées, à tubes d'eau, les chaudières ambitubulaires, et sa réalisation est possible quelle que soit la puissance thermique de ladite chaudière.
- 25 Il est déjà connu des procédés de recombustion des fumées émises pour réduire les émissions de  $\text{NO}_x$ , tels que ceux décrits dans les brevets US 5,139,755 et WO 97/25134

Cette recombustion est une technique de réduction des oxydes d'azote  
30 basée sur l'étagement de la combustion. Dans un foyer que comporte

habituellement ces chaudières et où cette technique est mise en œuvre, on peut distinguer trois zones :

- la première zone dans laquelle on brûle environ 85 à 95 % en masse du combustible dans des conditions standards, c'est-à-dire avec des excès d'air d'environ 5 à 15 % quand on emploie des combustibles gazeux ou des combustibles liquides.
- dans la seconde zone, située en aval de la première, on injecte le combustible restant qui consomme l'excès d'oxygène des fumées provenant de la première zone. L'atmosphère de cette seconde zone devient réductrice et les oxydes d'azote générés dans la première zone sont transformés en azote moléculaire pour l'essentiel, sous l'action de radicaux hydrocarbonés.
- dans une troisième zone (ou zone de post-combustion), on ajoute de l'air afin d'éliminer toutes les substances imbrûlées générées dans la seconde zone et avoir en sortie un excès d'air standard de 5 à 15 %.

La méthode de recombustion tel que précédemment décrite permet en général de diminuer les émissions de  $\text{NO}_x$  d'environ 50 à 80 %.

- 20 Si, dans son principe, la recombustion est attractive du point de vue des performances et ne fait appel à aucun réactif permettant la réduction des oxydes d'azote autre que le combustible lui-même, elle souffre néanmoins d'inconvénients non négligeables.
- 25 Dans le cas d'un générateur thermique fonctionnant avec du gaz naturel, les difficultés rencontrées les plus importantes sont :
- une forte corrosion dans la zone de recombustion et dans la zone de post-combustion dus à la présence d'une atmosphère réductrice ou à l'alternance d'atmosphères oxydante et réductrice.

- 5       - une oxydation imparfaite du combustible de recombustion dans la zone de post-combustion avec comme corollaire la formation d'imbrûlés gazeux et solides, et dans les cas les plus sévères, des encrassements des surfaces d'échange situées en aval qui vont réduire le rendement énergétique global et exiger des équipements de nettoyage automatique plus sophistiqués et plus chers.
- 10       - une sécurité difficile à assurer due à l'étape d'injection d'un combustible dans la zone de recombustion. Le risque principal est d'avoir une non-combustion dudit combustible suite à un incident ou à une marche transitoire mal maîtrisée. Dans ce cas, il y a des risques d'explosion dans les parties situées en aval de la zone de recombustion (chaudière de récupération, filtre, etc.).

15       Dans le cas d'un générateur thermique opérant avec des produits pétroliers lourds, les difficultés de mise en œuvre sont les mêmes que celles rencontrées avec le gaz naturel, mais elles sont souvent renforcées pour certaines. C'est en particulier vrai pour les imbrûlés solides qui sont produits en plus grandes quantités. Par ailleurs, le rendement de dénitrification peut être plus faible avec ces produits lourds, à cause de la présence de

20       composés azotés dans le combustible initial.

25       La présente invention se propose de remédier aux inconvénients ci-dessus grâce à générateur thermique comprenant un tube foyer dans lequel est brûlé un combustible, des moyens de recombustion permettant de diminuer les taux d'oxydes d'azote présents dans lesdites fumées, et des moyens de récupération de la chaleur des fumées issues de ladite combustion, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens de confinement dans lesquels sont placés lesdits moyens de recombustion.

Avantageusement, les moyens de confinement sont disposés entre le tube-foyer et les moyens de récupération de chaleur.

5 Lesdits moyens de confinement peuvent être extractibles et fixés sur une trappe d'accès.

De manière préférentielle, les moyens de confinement peuvent comprendre des moyens permettant de modifier le profil de vitesse des fumées à l'entrée desdits moyens de confinement.

10

De manière avantageuse, une boîte à fumée peut être placée entre les moyens de confinement et lesdits moyens de récupération de chaleur.

15 Ladite boîte de fumée peut comprendre des tubes d'échange de chaleur avec les fumées.

Préférentiellement, lesdits moyens de confinement peuvent comprendre une virole à l'intérieur de laquelle sont disposés successivement, dans le sens de circulation des fumées, des moyens d'injection d'un combustible de recombustion et des moyens de génération d'une flamme pilote.

20

Lesdits moyens de confinement peuvent comprendre en outre des moyens d'injection d'air permettant la post-combustion.

25 La flamme pilote peut être positionnée sensiblement à égale distance du point d'injection de l'air de post combustion et du point d'injection du combustible de recombustion.

30 En outre, des moyens d'injection de l'air permettant la post-combustion peuvent être disposés en aval de ladite virole.

L'invention concerne également un procédé de limitation des émissions d'oxydes d'azote émis par un générateur thermique, caractérisé en ce qu'on effectue les étapes suivantes :

- 5           a) on brûle une majorité du combustible dans une zone de combustion,
- b) on fait passer les fumées résultantes de ladite combustion dans une zone de confinement (11),
- c) on mélange dans ladite zone de confinement une minorité du
- 10           combustible avec lesdites fumées.

Suivant un mode préférentiel, on peut injecter durant une étape d) de l'air dans les fumées résultantes de l'étape c).

- 15    Suivant une autre variante, on peut effectuer l'étape d) dans ladite zone de confinement.

- Suivant un autre mode, on peut brûler environ 70% à environ 95% de la masse du combustible total durant l'étape a), environ 5 à environ 30% de la
- 20    masse du combustible total durant l'étape c) et on peut injecter une quantité d'air durant l'étape d) permettant d'avoir un excès d'air par rapport à la stœchiométrie d'environ 5 à environ 25%.

- On peut mettre en contact les fumées issues de l'étape c) avec une flamme
- 25    pilote avant l'étape d).

- On peut ajouter à l'air injecté durant l'étape d) un réactif chimique autre que le combustible permettant la réduction des oxydes d'azote par voie sélective non catalytique.
- 30

Dans un mode avantageux, lors des marches réduites du générateur, on peut ajuster les débits de combustible injectés dans la zone de combustion et dans la zone de confinement de façon à maintenir une température sensiblement constante dans ladite zone de confinement.

5

Grâce à l'invention, une solution simple, efficace et sécurisée de la recombustion des fumées de chaudières est appliquée pour réduire de façon significative les émissions de polluants et plus particulièrement d'oxydes d'azote ( $\text{NO}_x$ ).

10

Le dispositif et/ou le procédé selon l'invention permet avantageusement de réduire les rejets d'oxydes d'azote de 30 à 90 % et préférentiellement de 50 à 75 % dans des chaudières industrielles de puissances en général comprises entre 100 kWth (kilowatts thermiques) et 50 MWth (mégawatts thermiques), sans nécessiter des équipements onéreux et sophistiqués, puisqu'ils se limitent à une virole et des moyens d'injection du combustible et du comburant.

15

De plus, ce mode de réduction des émissions d'oxydes d'azote ne fait pas appel à des « réactifs » autres que les combustibles employés par la chaudière.

20

La solution proposée présente d'autant plus d'intérêt que l'implantation de brûleurs spécifiques connus et ne produisant que de faibles quantités d'oxyde d'azote (appelés brûleurs bas- $\text{NO}_x$ ) est souvent difficile, voire impossible, dans les foyers confinés comme ceux que l'on rencontre avec les chaudières à tubes de fumées ou dans les chaudières à vaporisation instantanée. La solution apportée par la présente invention peut aussi être envisagée dans des chaudières existantes, moyennant une modification mineure de la boîte à fumées qui relie le tube-foyer et les tubes de fumées.

25

30



Grâce à l'invention, la recombustion est réalisée dans des conditions optimales, dans la mesure où l'écoulement de fumées à traiter est homogène en température et en concentration et grâce à la possibilité de  
5 procéder à l'injection du combustible de recombustion et à l'air de post-combustion, dans des conditions optimales du point de vue du mélange.

De plus, cette recombustion est effectuée sans risque pour le tube-foyer, qui est une pièce sensible de la chaudière, et les moyens de confinement (une virole par exemple) constituent un écran qui prémunit ledit tube-foyer  
10 d'éventuels risques de corrosion et/ou de dépôts carbonés. Enfin, le tube-foyer n'est ainsi jamais en contact avec des gaz réducteurs et/ou chargés en substances susceptibles de créer des dépôts carbonés.

En outre, la présence d'un brûleur pilote supprime la possibilité d'avoir des  
15 quantités importantes de combustible imbrûlé à la sortie de la zone de recombustion, et les risques éventuels d'explosion dans les parties aval de la chaudière qui en découlent.

Il est également possible de mettre en place des matériaux isolants sur  
20 certaines des parties internes du moyen de confinement pour ajuster le profil thermique en fonction des exigences de la recombustion. Ainsi, ce moyen de confinement peut aussi être recouvert intérieurement de matériaux spécifiques comme certaines céramiques qui limitent la formation de coke.

25 Les éventuels risques de cokage de la zone de recombustion sont aussi beaucoup plus limités sur les parois plus chaudes du moyen de confinement (typiquement entre 800 et 1100 °C) que sur des parois membranées telle que celles habituellement utilisés ou dans le tube-foyer, où les températures sont limitées le plus souvent entre 250 et 400 °C.

30

De plus, la présence de deux points d'injection de combustible dans le tube-foyer, un premier point au niveau du brûleur principal et un second point au niveau de la zone de recombustion, facilite le contrôle de l'extraction de chaleur dans ledit tube-foyer, en particulier en marche réduite, si l'on veut  
5 éviter un abaissement trop important des températures à l'endroit où l'on réalise l'opération de post-combustion.

La solution proposée permet avantageusement de réaliser une opération de recombustion avec des produits pétroliers lourds ; ce qui serait certainement  
10 difficile de faire sans moyen de confinement, à cause des problèmes d'encrassement.

Grâce au dispositif et/ou au procédé selon l'invention, il est permis également d'envisager une stratégie d'introduction du combustible de  
15 recombustion multi-étagée, qui est certainement plus appropriée pour les combustibles ayant une certaine quantité d'azote de constitution, afin d'éviter ainsi la conversion dudit azote de constitution en  $\text{NO}_x$ .

Il est également possible de combiner éventuellement une opération de  
20 réduction sélective non catalytique à l'opération de recombustion, et ce, dans des conditions optimales pour les deux opérations. Avec une telle combinaison, les rendements peuvent dépasser les 90 %.

De par l'invention, les opérations de maintenance sur la zone de  
25 recombustion sont très simples, dans la mesure où le moyen de confinement peut être facilement retiré du tube-foyer.

Les moyens de confinement de l'invention présente une masse faible comparée à celle de la chaudière et n'introduisent donc pas d'inertie

supplémentaire importante. Les délais de démarrage, de changement de marche ou d'arrêt ne sont donc pas pénalisés.

Avantageusement, la solution proposée dans la présente demande pour  
5 réduire de façon notable le niveau d'émission des  $\text{NO}_x$  dans les fumées finalement rejetées peut également être appliquée à des chaudières à foyer cylindrique vertical, à vaporisation instantanée ou non. Elle est aussi envisageable pour des chaudières à tubes d'eau ayant des foyers à géométrie cylindrique ou parallélépipédique.

10

Les autres caractéristiques et avantages du présent dispositif apparaîtront mieux à la lecture de la description ci-après d'un mode de réalisation non limitatif de l'invention, en se référant à la figure 1 unique qui schématise une chaudière selon l'invention.

15

La figure 1 montre une chaudière industrielle à tubes de fumées à deux passes incorporant un dispositif de recombustion selon l'invention mais bien entendu, l'invention n'est cependant pas restreinte à ce type de configuration de chaudière.

20

Cette chaudière comprend un brûleur 1, un tube-foyer cylindrique 2, des tubes de fumées 3 servant de moyens de récupération de la chaleur des fumées issues de la combustion, un corps de chaudière cylindrique 4 dans laquelle se trouve l'eau à chauffer et à vaporiser, des boîtes à fumées 5 et 6,  
25 une évacuation à la cheminée 7, une alimentation en eau 101, une sortie vapeur 102 et un organe 103 de régulation du niveau d'eau dans ledit corps de chaudière 4.

Le brûleur 1 est alimenté, par la ligne 8, avec un combustible gazeux ou  
30 liquide et par un comburant, ici sous forme de gaz qui peut être de l'air, par

la ligne 9. Ce brûleur est placé dans un ouvrage 10 et produit une flamme 29 qui se développe dans le tube-foyer 2 de forme sensiblement cylindrique et qui va chauffer l'eau présente autour ce tube foyer.

Le tube-foyer 2 est calculé de façon à ce que la flamme à pleine puissance  
5 n'occupe pas toute sa longueur, mais laisse, dans sa partie aval au sens de l'écoulement gazeux, un espace libre qui correspond par exemple à un tiers du volume total dudit tube-foyer

Cette disposition telle qu'elle vient d'être décrite est classiquement utilisée  
10 dans l'art antérieur dans le cas d'une chaudière industrielle à deux passes (*Techniques de l'ingénieur, BE2, B1480-5 (1998)*).

Selon l'invention, des moyens de confinement, sous la forme d'une virole sensiblement cylindrique 11, sont placés dans la partie aval du tube-foyer 2.  
15 C'est dans cette virole que pénétreront les fumées issues du brûleur 1 et qu'est réalisée l'opération de recombustion et éventuellement de post-combustion desdites fumées. Le diamètre extérieur de la virole est légèrement inférieur au diamètre intérieur du tube-foyer, de façon à créer entre ladite virole et ledit tube-foyer un passage 12. Ce passage doit être  
20 minimisé selon toute technique connue de telle façon qu'une fraction minime des fumées la traverse mais devra être suffisant pour le démontage de la virole par une trappe d'accès 24 soit possible. La section du passage 12 représente de 0,1 à 10 % de la section de passage totale dudit tube-foyer, et de préférence de 2 à 5 %. Ladite virole peut être simplement posée dans le  
25 tube-foyer sur des éléments de support 13, mais d'autres moyens de fixation connus de l'homme du métier sont possibles.

A l'intérieur de la virole 11, et de préférence en son centre, on trouve plusieurs moyens d'injection de combustible et de comburant. Ces moyens  
30 peuvent être concentriques comme représentés à la figure 1, avec une

première canne centrale 14 avec, en son extrémité 15, des moyens de pulvérisation mécanique ou pneumatique pour l'injection du combustible de recombustion 30 apporté par une ligne 16, puis, dans le sens de la périphérie, une canne concentrique 17 alimentée en combustible et  
5 comburant par des lignes 18 et 19 et qui sert à créer en son extrémité 20 une flamme pilote annulaire 31, multipoints ou encore unique, et enfin une dernière canne concentrique 21 alimentée en air par une ligne 22 et qui permet d'injecter l'air de post-combustion 32 qui est introduit par exemple par les orifices calibrés 23.

10

Ces moyens d'injection du combustible et du comburant sont par exemple fixés sur une trappe d'accès 24. Ils peuvent être dimensionnés selon les règles de l'Art pour que leurs refroidissements se fassent uniquement grâce au combustible, au comburant et aux éventuels fluides porteurs qu'ils  
15 véhiculent, mais leurs refroidissements par un fluide auxiliaire circulant dans des jaquettes (non représentées sur la figure 1) est aussi possible.

La virole 11 peut éventuellement comporter dans sa partie amont (au sens de l'écoulement des fumées) des moyens 25 destinés à modifier le profil de  
20 vitesse des fumées à l'entrée de ladite virole. Ces moyens comprennent par exemple une grille ou une plaque perforée. La géométrie de ces moyens est définie par l'Homme de l'Art, afin qu'en combinaison avec les moyens mis en œuvre pour l'injection du combustible de recombustion, on obtienne une  
25 dispersion très rapide et très homogène dudit combustible de recombustion dans la veine de fumées à traiter. Les moyens 25 peuvent également servir d'écran thermique et protéger les moyens d'injection du combustible de recombustion et d'air de post-combustion d'un rayonnement trop important de la flamme. Les moyens 25 peuvent enfin servir à homogénéiser la  
température dans la virole 11.

30

La flamme pilote 31 est positionnée entre le point d'injection du combustible de recombustion 30 et le point d'injection de l'air de post-combustion 32, et de préférence sensiblement à égale distance entre les deux points.

- 5 La virole 11 possède des orifices 26 par lesquels sortent les fumées traitées pour aller dans la boîte à fumées 5, puis ensuite dans les tubes de fumées 3.

Selon un autre mode de réalisation, la virole 11 peut présenter une ouverture totale dans sa partie aval (qui débouche dans la boîte à fumées 5).

10

Sans sortir du cadre de l'invention, il est également possible que la virole n'abrite que la zone de recombustion, l'opération de post-combustion étant réalisée dans la boîte à fumées et l'air de post-combustion étant introduit à partir des parois de ladite boîte à fumées, et non plus à partir d'une canne centrale.

15

La boîte à fumées peut être à parois réfractorisées ou munie partiellement ou totalement de tubes échangeurs 27 reliés ou non au corps de chaudière 4 selon un mode de réalisation similaire ou équivalent à celui décrit dans « *Les techniques de l'ingénieur, BE2, B1480-7* ». Sur la partie arrière 28 de la chaudière, les tubes échangeurs peuvent être en partie déportés, afin de laisser un libre passage à la virole, afin qu'elle puisse être facilement retirée de la chaudière si nécessaire.

20

- 25 La virole 11 est constituée de matériaux métalliques réfractaires. Elle pourra être recouverte intérieurement, partiellement ou totalement de matériaux isolants, afin de réduire les échanges thermiques avec le tube-foyer. Par exemple, tout ou partie de la virole correspondant à la zone de recombustion pourra être recouverte d'une fine couche d'un matériau très isolant comme des céramiques par exemple, tandis que la partie de la virole où se déroule
- 30

la post-combustion sera sensiblement exempte d'isolant. Les matériaux isolants seront déposés sur les parois selon les règles de l'Art en tenant compte en particulier des différences de dilatation entre des pièces métalliques et des céramiques.

5

Les revêtements réfractaires de la zone de recombustion pourront également être choisis afin qu'ils limitent la formation de coke, plus spécialement quand on emploie des combustibles pétroliers lourds susceptibles de générer d'importantes quantités d'imbrûlés.

10

Lorsqu'on utilise des combustibles chargés en azote comme combustible de recombustion, l'injection dudit combustible de recombustion se fera de préférence en deux étapes (voire en plusieurs étapes) : une première injection immédiatement à l'entrée de la virole, et une seconde injection  
15 située approximativement à mi-distance entre le premier point d'entrée du combustible de recombustion et le point d'injection de l'air de post-combustion. Le débit de combustible de recombustion injecté au premier point est calculé de façon à consommer la totalité de l'oxygène résiduel issu de la zone de combustion principale, sans créer une zone véritablement  
20 riche en combustible. La seconde injection a au contraire pour objet de créer une zone véritablement riche en combustible dans la seconde partie de la zone de recombustion.

25

Le brûleur 1 utilise par exemple du gaz naturel, ou du fuel lourd, ou des résidus pétroliers, ou encore tout type de combustible employé par des chaudières industrielles à tube de fumées. C'est en général un brûleur classique qui génère une flamme compacte, et avec lequel il est difficile de développer des stratégies de réduction des oxydes d'azote au niveau du brûleur. En effet, les tubes-foyers les plus généralement utilisés sont trop

étroits pour recevoir les brûleurs à basses émissions d'oxydes d'azote car ceux-ci génèrent le plus souvent des flammes très épanouies.

5 Le brûleur 1 peut avoir un moyen de mise en rotation partielle ou totale du gaz comburant (non représenté sur la figure 1), afin d'avoir des courants de circulation des fumées vers la sortie du tube-foyer, plutôt localisés à proximité de la paroi dudit tube-foyer, et ainsi faciliter l'écoulement d'une mineure partie des fumées dans l'espace 12 selon le sens indiqué sur la figure 1.

10 Selon un autre mode de réalisation et de fonctionnement, le brûleur 1 et les moyens d'injections du comburant peuvent être conçus pour favoriser une impulsion axiale forte du comburant, de façon à créer des courants de recirculation le long des parois du tube-foyer. Dans ces conditions, le sens  
15 de circulation des fumées dans l'espace 12 est opposé à celui indiqué par les flèches 33 sur la figure 1. Une fraction des fumées présente dans la boîte à fumées 5 pourrait être ainsi recyclée en amont de la virole 11. L'intérêt de ce mode de fonctionnement est que l'intégralité des fumées peut être traitée en recombustion, alors que dans le mode évoqué précédemment, (brûleur à  
20 mise en rotation du comburant) la fraction des fumées qui circule dans l'espace 12 n'est pas soumise à la recombustion.

L'excès d'air au brûleur par rapport à la stoechiométrie est réglé de façon à être typiquement compris entre 5 et 25 %.

25 La position de la virole 11 dans le tube-foyer 2 est fixée de façon à ce que la température des fumées à l'entrée de ladite virole en marche nominale soit comprise entre 1100 et 800 °C et de préférence entre 1000 et 900 °C. La quantité de combustible de recombustion introduite dans la virole est  
30 comprise entre 5 et 30 % du combustible total consommé par la chaudière,



et de préférence entre 10 et 15 %. Le combustible employé par la torche pilote ne consomme typiquement que 1% du combustible total. Le débit d'air de post-combustion est calculé de façon à ce que l'excès d'air en sortie de virole soit compris entre 5 et 25 %.

5

L'ensemble de mélange du combustible de recombustion avec les fumées à traiter, constitué par le moyen 25 et le dispositif d'injection 15 sera dimensionné selon toute technique connue de l'Homme de l'Art, afin que ledit mélange soit réalisé en moins de 100 ms. Dans le cas d'un combustible de recombustion gazeux, l'injection pourra être réalisée à partir d'une tête unique munie d'un nombre d'orifices suffisant, tel que représenté sur la figure 1, mais d'autres modes d'injection au niveau d'une ou plusieurs couronnes d'un diamètre supérieur à celui de la canne 14 sont également possibles. Dans le cas d'un combustible de recombustion liquide, la tête d'injection sera calculée selon les règles de l'Art, de façon à ce que la distribution granulométrie et les vitesses initiales des gouttelettes assurent une couverture complète et homogène de la veine de fumées à traiter, sans qu'il y ait de contact de gouttelettes non totalement vaporisées avec la paroi intérieure de la virole 11.

20

Le temps de séjour des fumées entre le point d'injection du combustible de recombustion et le point d'injection de l'air de post-combustion est compris entre 100 et 500 ms et de préférence entre 150 et 200 ms.

25 La flamme pilote 31 a pour rôle d'assurer la combustion du combustible de recombustion dans les cas où la température à l'entrée de la zone de recombustion chuterait brutalement suite à un incident ou à une marche transitoire mal maîtrisée. La flamme pilote 31 a essentiellement une fonction de sécurité et il est en général exclu de maintenir en permanence une  
30 opération de recombustion où le combustible de recombustion ne serait pas

- partiellement ou totalement oxydé avant le brûleur pilote. Une sonde de température non représentée sur la figure 1 est placée sur la canne 14, avec un ou plusieurs points de mesure situés entre l'extrémité 15 de ladite canne 14 et l'extrémité 20 de la canne 17. Selon un exemple de procédure de
- 5 fonctionnement, lorsque la température mesurée en ce ou ces points sera inférieure à une valeur de consigne, qui se situe par exemple entre 500 et 1000 °C, et de préférence entre 800 et 900 °C, l'arrêt de l'opération de recombustion est immédiatement enclenché.
- 10 Le dispositif d'introduction de l'air de post-combustion est calculé selon les règles de l'Art, afin que le temps de mélange dudit air de post-combustion avec les gaz issus de la zone de recombustion soit inférieur à 100 ms. Des moyens complémentaires non représentés sur la figure 1, tels que par exemple venturi ou diaphragme, peuvent être implantés avant ou au niveau
- 15 du ou des points d'injection de l'air de post-combustion, afin de favoriser le mélange dudit air de post-combustion avec les gaz issus de la zone de recombustion.
- L'air de post-combustion peut éventuellement être additivé avec des réactifs
- 20 comme l'ammoniac ou l'urée ou d'autres composés aux effets équivalents, afin d'ajouter une réduction des oxydes d'azote par voie sélective non catalytique, à l'opération de post-combustion proprement dite.
- Le combustible de recombustion n'est introduit dans la virole qu'une fois
- 25 effectuées les opérations suivantes :
- Allumage et mise en régime du brûleur principal 1;
  - Allumage de la flamme pilote 31;
  - Alimentation en air de post-combustion 32.

Pour l'arrêt de la chaudière, les mêmes opérations sont effectuées, mais en sens inverse.

Lors des variations de marche de la chaudière, le dispositif de conduite est  
5 réglé de façon à maintenir une température sensiblement constante après  
l'injection du combustible de recombustion. Par exemple, lorsque la  
puissance de la chaudière est réduite de moitié, il est possible selon un  
premier mode de fonctionnement de baisser les débits de combustible au  
brûleur principal et dans la zone de recombustion dans les mêmes  
10 proportions. Cependant, cette approche présente l'inconvénient de diminuer  
la température à l'entrée de la virole et donc dans la zone de recombustion,  
avec des risques consécutifs de diminution substantielle du rendement de  
réduction des oxydes d'azote. Dans un deuxième mode de fonctionnement  
de l'invention, on préférera avantageusement une stratégie qui consiste à  
15 réduire de manière plus importante le débit au niveau du brûleur principal et  
à augmenter le débit de combustible de recombustion, la somme de ces  
deux débits restant identique au débit requis normalement par la marche  
partielle. En procédant ainsi, on réduit l'échange thermique dans la partie  
amont du tube-foyer. Ce mode de gestion des phases transitoires permet  
20 avantageusement de conserver un niveau thermique sensiblement constant  
dans la partie aval dudit tube-foyer et par suite un rendement de réduction  
des NO<sub>x</sub> également sensiblement constant.

Selon un autre mode de fonctionnement de l'invention, l'ajustement du profil  
25 thermique dans le tube-foyer 2 lors des variations de marche de la chaudière  
pourra également être obtenu en déplaçant l'ensemble d'injection du  
combustible de recombustion et d'air de recombustion, le long de l'axe  
principal de la virole 11. En procédant de cette manière, il est ainsi possible  
de modifier la quantité de chaleur extraite dans le tube-foyer.

30

### REVENDICATIONS

- 1) Générateur thermique comprenant un tube foyer (2) dans lequel est brûlé un combustible, des moyens de recombustion (14,15) permettant de diminuer les taux d'oxydes d'azote présents dans lesdites fumées, et des moyens (3) de récupération de la chaleur des fumées issues de ladite combustion, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens de confinement (11) dans lesquels sont placés lesdits moyens de recombustion.
- 2) Générateur thermique selon la revendication 1, dans lequel les moyens de confinement (11) sont disposés entre le tube-foyer (2) et les moyens (3) de récupération de chaleur.
- 3) Générateur thermique selon la revendication 1 ou 2, dans lequel lesdits moyens de confinement sont extractibles et fixés sur une trappe d'accès (24).
- 4) Générateur thermique selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel lesdits moyens de confinement comprennent des moyens (25) permettant de modifier le profil de vitesse des fumées à l'entrée desdits moyens de confinement.
- 5) Générateur thermique selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel une boîte à fumée (5) est placée entre les moyens de confinement (11) et lesdits moyens de récupération de chaleur.
- 6) Générateur thermique selon la revendications 5, dans lequel ladite boîte de fumée comprend des tubes (27) d'échange de chaleur avec les fumées.
- 7) Générateur thermique selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, dans lequel lesdits moyens de confinement

comprennent une virole (11) à l'intérieur de laquelle sont disposés successivement, dans le sens de circulation des fumées, des moyens d'injection d'un combustible de recombustion (14,15) et des moyens de génération d'une flamme pilote (17, 20).

- 5           8) Générateur thermique selon la revendication 7, dans lequel lesdits moyens de confinement comprennent en outre des moyens d'injection d'air (21, 23) permettant la post-combustion.

- 9) Générateur thermique selon la revendication 7 ou 8, dans lequel la flamme pilote (20) est positionnée sensiblement à égale distance  
10 du point d'injection de l'air de post combustion (23) et du point d'injection du combustible de recombustion (15).

- 10) Générateur thermique selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, dans lequel des moyens d'injection de l'air permettant la post-combustion (21,23) sont disposés en aval de ladite virole.

- 15           11) Procédé de limitation des émissions d'oxydes d'azote émis par un générateur thermique, caractérisé en ce qu'on effectue les étapes suivantes :

- a) on brûle une majorité du combustible dans une zone de combustion,
- 20           b) on fait passer les fumées résultantes de ladite combustion dans une zone de confinement (11),
- c) on mélange dans ladite zone de confinement une minorité du combustible avec lesdites fumées.

- 12) Procédé selon la revendication 11, dans lequel on injecte  
25 durant une étape d) de l'air dans les fumées résultantes de l'étape c).

13) Procédé selon la revendication 11 ou 12, dans lequel on effectue l'étape d) dans ladite zone de confinement.

14) Procédé selon l'une des revendications 11 à 13, dans lequel on brûle environ 70% à environ 95% de la masse du combustible total durant l'étape a), dans lequel on brûle environ 5 à environ 30% de la masse du combustible total durant l'étape c) et dans lequel on injecte une quantité d'air durant l'étape d) permettant d'avoir un excès d'air par rapport à la stoechiométrie d'environ 5 à environ 25%.

15) Procédé selon l'une quelconque des revendications 11 à 14, dans lequel on met en contact les fumées issues de l'étape c) avec une flamme pilote avant l'étape d).

16) Procédé selon l'une quelconque des revendications 11 à 15, dans lequel on ajoute à l'air injecté durant l'étape d) un réactif chimique autre que le combustible permettant la réduction des oxydes d'azote par voie sélective non catalytique.

17) Procédé selon l'une quelconque des revendications 11 à 16, dans lequel, lors des marches réduites du générateur, on ajuste les débits de combustible injectés dans la zone de combustion et dans la zone de confinement de façon à maintenir une température sensiblement constante dans ladite zone de confinement.

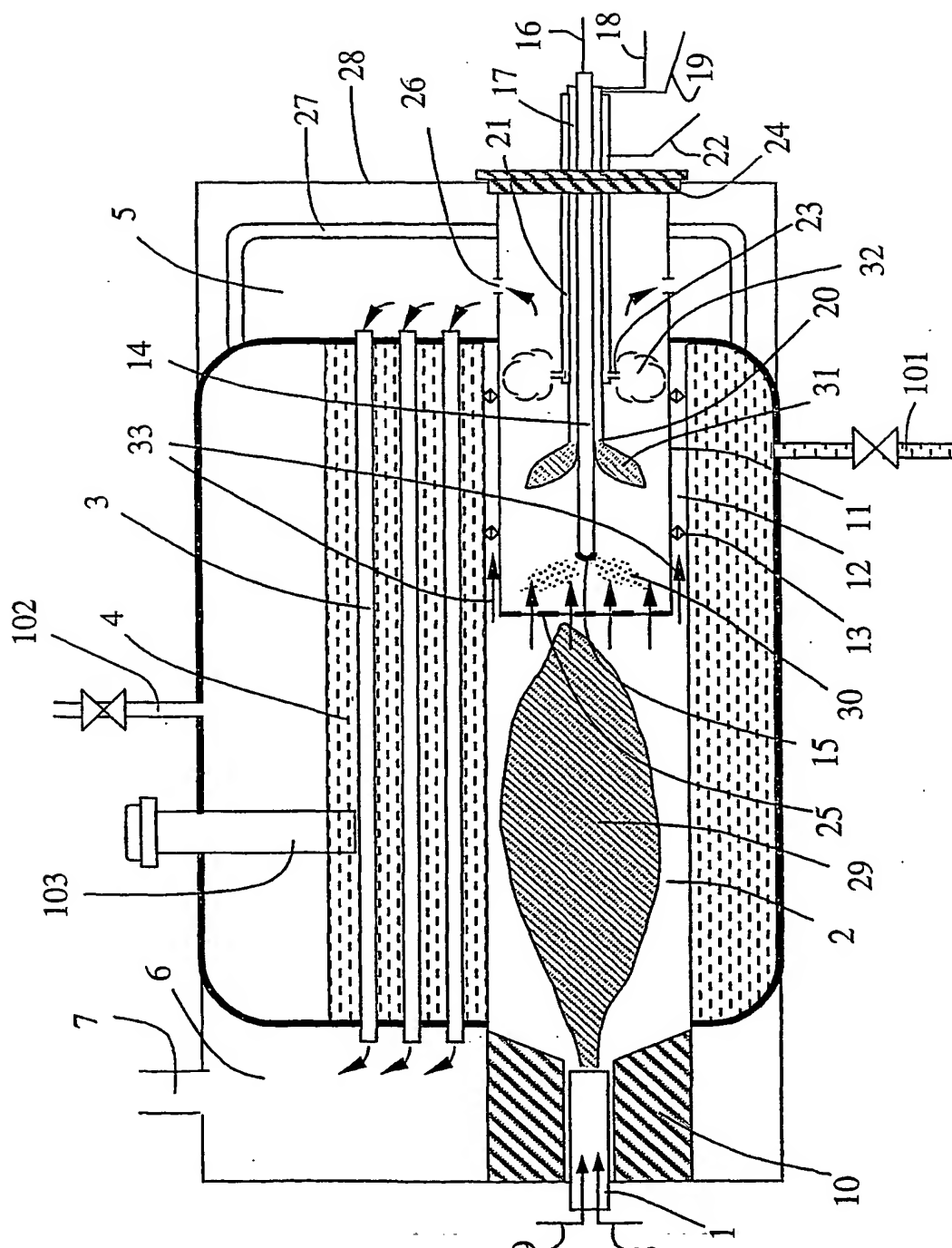


Figure 1

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR 02/01749

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 F23C6/04 F23M9/06

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 F23C F23M F24H

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, PAJ

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X,P	US 6 287 111 B1 (GENSLER WAYNE) 11 September 2001 (2001-09-11) column 8, line 8 -column 9, line 19; figure 8	1,2,11
Y	US 4 862 835 A (OPPENBERG ROLF) 5 September 1989 (1989-09-05) column 2, line 23 - line 31; figure	1,4, 11-13
Y	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 007, no. 059 (M-199), 11 March 1983 (1983-03-11) & JP 57 204709 A (TAKUMA SOUGOU KENKYUSHO:KK), 15 December 1982 (1982-12-15) abstract	1,4, 11-13



Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*&\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

10 September 2002

Date of mailing of the international search report

17/09/2002

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5618 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Coli, E



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int lonal Application No  
PCT/FR 02/01749

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 003, no. 130 (M-078), 27 October 1979 (1979-10-27) -& JP 54 105328 A (TOYO TIRE & RUBBER CO LTD), 18 August 1979 (1979-08-18) abstract -----	1, 11
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 005, no. 174 (M-096), 10 November 1981 (1981-11-10) & JP 56 100211 A (NIPPON KOKAN KK), 12 August 1981 (1981-08-12) abstract -----	1, 11

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/FR 02/01749

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 6287111	B1	11-09-2001	NONE
US 4862835	A	05-09-1989	DE 3737321 C1 27-04-1989 AT 91330 T 15-07-1993 DE 3882201 D1 12-08-1993 EP 0314910 A2 10-05-1989 ES 2041290 T3 16-11-1993 JP 1163512 A 27-06-1989 JP 2762085 B2 04-06-1998
JP 57204709	A	15-12-1982	NONE
JP 54105328	A	18-08-1979	NONE
JP 56100211	A	12-08-1981	NONE

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Del 3e internationale No  
PCT/FR 02/01749

**A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE**  
CIB 7 F23C6/04 F23M9/06

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

**B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE**

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)  
CIB 7 F23C F23M F24H

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)  
EPO-Internal, PAJ

**C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS**

Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X,P	US 6 287 111 B1 (GENSLER WAYNE) 11 septembre 2001 (2001-09-11) colonne 8, ligne 8 - colonne 9, ligne 19; figure 8	1,2,11
Y	US 4 862 835 A (OPPENBERG ROLF) 5 septembre 1989 (1989-09-05) colonne 2, ligne 23 - ligne 31; figure	1,4, 11-13
Y	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 007, no. 059 (M-199), 11 mars 1983 (1983-03-11) & JP 57 204709 A (TAKUMA SOUGOU KENKYUSHO:KK), 15 décembre 1982 (1982-12-15) abrégé	1,4, 11-13

☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

\* Catégories spéciales de documents cités:

- \*A\* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- \*E\* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- \*L\* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- \*O\* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- \*P\* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

- \*T\* document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
- \*X\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
- \*Y\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
- \*G\* document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

10 septembre 2002

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

17/09/2002

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale  
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Coli, E

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

De le Internationale No

PCT/FR 02/01749

## C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 003, no. 130 (M-078), 27 octobre 1979 (1979-10-27) -& JP 54 105328 A (TOYO TIRE & RUBBER CO LTD), 18 août 1979 (1979-08-18) abrégé	1,11
A	----- PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 005, no. 174 (M-096), 10 novembre 1981 (1981-11-10) & JP 56 100211 A (NIPPON KOKAN KK), 12 août 1981 (1981-08-12) abrégé -----	1,11

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

De l'Organisation Internationale No

PCT/FR 02/01749

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 6287111	B1	11-09-2001	AUCUN
US 4862835	A	05-09-1989	DE 3737321 C1 27-04-1989 AT 91330 T 15-07-1993 DE 3882201 D1 12-08-1993 EP 0314910 A2 10-05-1989 ES 2041290 T3 16-11-1993 JP 1163512 A 27-06-1989 JP 2762085 B2 04-06-1998
JP 57204709	A	15-12-1982	AUCUN
JP 54105328	A	18-08-1979	AUCUN
JP 56100211	A	12-08-1981	AUCUN

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**